

-2-

" L'approche française  
de l'automatisation du contrôle de la circulation aérienne"

vers 1966



- L'APPROCHE FRANCAISE DE L'AUTOMATISATION DU CONTROLE  
DE LA CIRCULATION AERIENNE

Par J. VILLIERS - Ingénieur en Chef de la Navigation Aérienne

Le premier échange de vue international sur l'automatisation de l'A.T.C. remonte à la réunion EUMED de l'OACI tenue à PARIS en 1961 le moindre mérite de cette confrontation n'avait pas été d'avoir donné naissance un peu plus tard à l'ATCAP (1).

A cette époque déjà les nombreuses idées exposées montraient que les Services responsables avaient l'intuition que les méthodes modernes de traitement de l'information pouvaient trouver leur application pour résoudre les problèmes posés à l'ATC par l'expansion continue du transport aérien.

Cinq ans plus tard, après avoir été confrontées avec la réalité, les idées initiales ont profondément évolué.

L'automatisation est entrée en application dans de nombreux centres d'une manière irréversible mais, il faut le reconnaître, à un degré qui ne modifie pas encore profondément les structures et les processus du contrôle.

Et aujourd'hui, pas plus qu'en 1959 la preuve n'a encore été administrée par des applications pratiques en vraie grandeur que l'automatisation ouvre effectivement la voie à une proche, fructueuse et profonde transformation du Système ATC.

.../...

---

(1) Air Traffic Control Panel de l'O.A.C.I.

Cette constatation ne pourrait engendrer pessimisme ou scepticisme que si l'on sous-estimait l'extrême complexité des problèmes opérationnels, humains et techniques soulevés par l'introduction de l'automatisation dans le domaine ATC. Si les réalisations opérationnelles sont encore peu spectaculaires, il résulte des recherches effectuées une connaissance plus subtile de l'ATC en tant que système de traitement de l'information et une meilleure estimation des difficultés des relations de l'homme et de la machine dans ce domaine particulièrement délicat.

Parallèlement, des matériels techniques originaux ont été étudiés et produits (digitalisateur et décodeurs radar, tabular displays, etc...) tandis que les calculateurs accomplissaient des progrès encore insoupçonnables il y a quelques années.

Il est alors devenu possible de concevoir des Systèmes qui, s'ils n'ont pas encore obtenu la consécration de l'expérience, sont destinés à affronter l'exploitation réelle et d'en recevoir, sans appel, la sanction.

Un effort considérable a été entrepris dans de nombreux Etats : la France espère y avoir apporté sa modeste contribution.

Tandis que les recherches et expérimentations y étaient poursuivies d'une manière continue, l'automatisation commençait à entrer en application pratique en France dès 1962, dans le plus important de ses ATCC (ORLY) par la mise en service du calcul et de l'impression des strips.

Cette première phase de l'automatisation est maintenant classique et présenter sa description et ses résultats n'apporterait guère de contribution aux travaux du Symposium.

Pour les stades plus avancés d'automatisation nous ne disposons aujourd'hui que des études; analyses et expérimentations préparatoires et d'un projet dont la mise en oeuvre progressive apporte chaque jour son contingent de problèmes qui ne présenteront plus qu'un intérêt historique quand ils seront résolus.

Faute donc de pouvoir exposer des résultats opérationnels basés sur une exploitation effective des techniques de pointe de l'automatisation, il ne nous est possible que de décrire les démarches fondamentales qui ont permis d'orienter nos recherches et de concevoir un Système destiné à la fois à la recherche expérimentale et à l'exploitation opérationnelle.

.../...

LE SYSTEME DE CONTROLE DE LA CIRCULATION AERIENNE

SYSTEME DE TRAITEMENT DE L'INFORMATION

EN TEMPS REEL.

Le Système de Contrôle de la Circulation Aérienne est fondamentalement un Système en temps réel de traitement de l'information. Il est pratique et constructif d'aborder son analyse sous cet aspect qui est commun au système manuel et au système en voie d'automatisation.

Ce système comparé à d'autres systèmes de traitement de l'information en temps réel présente des caractères originaux marqués.

Une première contrainte très sévère résulte de ce que le temps qui se déroule dans le système est le temps absolu c'est-à-dire qu'il n'existe pratiquement pas de degré de liberté dans le choix des vitesses d'acquisition et de traitement des données ; le trafic est imposé par les circonstances, le Système doit en assurer l'écoulement. Le délai imparti au traitement des informations nouvelles qui se présentent en ordre quasi-aléatoire est faible et borné, de sorte qu'il n'est guère possible d'atténuer la rigueur de cette contrainte par la constitution de files d'attente.

Le dispositif de contrôle de la Circulation Aérienne est un exemple original d'une communauté de travail au sein de laquelle les individus effectuent un temps réel et d'une manière coordonnée un ensemble de tâches de nature essentiellement intellectuelle. Chaque problème élémentaire à résoudre est relativement simple, mais la brièveté du temps imparti à son traitement impose, par moments, une intense activité intellectuelle, cette activité est très diversifiée et ne peut être assurée qu'en raison de l'étonnante faculté d'adaptation de l'individu humain convenablement formé et entraîné. Malgré les prouesses réalisées, souvent au prix de fatigue et de dépense nerveuse regrettables, il existe des limites qui ne peuvent être dépassées sans qu'il soit procédé, au fur et à mesure de l'augmentation du trafic, à une division toujours plus poussée du travail. Cette division peut s'effectuer en diminuant chaque volume élémentaire de contrôle (sectorisation), soit en répartissant dans chaque secteur les tâches par nature spécifique (contrôle aux procédures, contrôle radar, coordination etc...).

.../...

Il est classique de constater que le bénéfice de cet émiettement du travail est loin d'être proportionnel à son degré de morcellement ; en effet, pour chaque participant, la résolution de problèmes, même partiels, implique la prise en considération d'informations dont il ne dispose plus directement. L'accroissement rapide des tâches découlant de la dispersion de l'information réduit l'apport effectif de chacun à la tâche collective de traitement des informations et amorce une réaction en chaîne de division toujours plus poussée du travail.

Il en résulte qu'au delà d'une certaine densité de trafic, le temps imparti au traitement de l'information devient trop faible pour qu'il puisse être tiré parti de toutes les données disponibles dans le Système. Dans bien des cas la saturation apparente de l'espace n'est qu'une conséquence indirecte de ce dernier phénomène.

L'automatisation offre donc potentiellement des solutions pour sortir de cette impasse. Les calculateurs modernes n'ont-ils pas une puissance de traitement de l'information quasi-illimitée et ne sont-ils pas capables, en conséquence, de suppléer à la capacité restreinte de traitement de l'information résultant de la mise en commun mal ordonnée de l'activité intellectuelle d'une collectivité de contrôleurs ?

Le problème n'est cependant pas plus simple que celui qui consisterait à tenter d'accélérer la progression trop lente d'un marcheur en terrain accidenté au moyen d'une voiture de compétition.

Le marcheur et le bolide présentent chacun leur supériorité partielle et il est bien difficile de les associer en toute circonstance. La machine peut rendre de précieux services sur les lignes droites mais son transport dans les passages difficiles peut constituer une charge telle qu'il peut falloir mieux renoncer à son utilisation au delà !

Le Système ATC constitue bien ce terrain accidenté dans lequel il est difficile de faire partager en temps réel à l'homme et à la machine des tâches multiples et imbriquées. Tant que l'homme n'aura pas été éliminé du dispositif, le Système ATC automatisé constituera un système hybride dans lequel l'homme au plus haut degré de sa compétence et de son activité intellectuelle est destiné à partager l'acquisition et le traitement de l'information en temps réel avec un calculateur.

Un tel système présente donc en ce sens, par rapport à d'autres systèmes de traitement de l'information en temps réel une originalité marquée et pose des problèmes d'une rare complexité

C'est essentiellement pour cette raison que l'automatisation n'a pas encore obtenu dans le cadre de l'ATC de succès aussi spectaculaires que dans d'autres domaines auxquels elle a été appliquée.

L'analyse montre qu'il n'existe pas de ligne de partage simple entre la part de traitement de l'information qui peut être effectué utilement par le calculateur et celle qui, a un stade donné d'automatisation, ne peut être dévolue qu'à l'homme.

Les rôles respectifs optimaux du calculateur et des hommes sont donc extrêmement délicats à répartir.

On a souvent considéré que le rôle des calculateurs était de décharger les contrôleurs des "tâches annexes" pour leur permettre de se consacrer exclusivement aux tâches de contrôle.

Il s'agit d'un raccourci trop simplifié ; la réalité est beaucoup plus complexe.

Les tâches de l'ATC ne se laissent pas facilement classer en tâches fondamentales et en tâches annexes.

Bien au contraire, une analyse très profonde de la nature spécifique des différentes activités des contrôleurs est nécessaire pour découvrir pour chacune d'entre elles le rôle potentiel des techniques nouvelles de traitement et de présentation de l'information. On constate alors que certaines tâches mêmes complexes et nobles peuvent rapidement bénéficier de l'automatisation, alors que certaines autres tâches simples ou banales, mais bien adaptées à l'action humaine pourront rester manuelles à un stade avancé d'automatisation.

Il apparait donc que le problème consiste essentiellement à rechercher les moyens de réduire la tâche globale effectuée par l'ensemble des contrôleurs afin d'amorcer un processus inverse de celui qui avait conduit à une division poussée du travail en un nombre croissant de contrôleurs et d'assistants ; on peut espérer ainsi parvenir à tirer le parti le plus complet de toute l'information disponible dans le Système et reculer en conséquence les limites de la saturation du dispositif.

#### LA REDUCTION DE LA TACHE GLOBALE

L'étude de l'automatisation est donc inséparable de l'analyse profonde et méticuleuse de la nature fondamentale de chacune des tâches exercées par les contrôleurs.

.../...

Les problèmes soulevés à chaque étape relèvent donc essentiellement des sciences humaines.

Cette conception est à la base des travaux effectués en France dans ce domaine, travaux auxquels contrôleurs techniciens et spécialistes des problèmes psychotechniques du travail ont été associés en franche, complète et fructueuse coopération.

Le but poursuivi étant de réduire la tâche globale dévolue à l'homme dans le système, on a recherché et analysé toutes les tâches partielles que le calculateur pouvait effectuer.

Il est rapidement apparu qu'il existe très peu de tâches que le calculateur puisse effectuer au profit du Système sans recourir au moins partiellement à l'initiative ou à l'assistance des contrôleurs.

On se heurte, en particulier à la première évidence suivante : le calculateur ne peut pas créer l'information de base et il existe des sources d'informations auxquelles il ne peut pas avoir accès sans la participation des contrôleurs (report de positions des avions en VHF, clearances accordées etc...).

La deuxième évidence apparaît moins directement mais ses conséquences n'en sont pas moindres. Si l'on maintient des maillons humains dans le Système et que l'on ne procède pas directement à l'automatisation complète, c'est que l'on estime que la souplesse d'adaptation du contrôleur est irremplaçable actuellement pour faire face à des situations dont la variété et le caractère peu prévisible imposeraient la rédaction d'un programme de calculateur complexe qu'on ne saurait d'ailleurs pas établir en toute circonstance.

Or précisément si le contrôleur s'adapte rapidement à des situations évolutives il est difficile de le faire assister par un calculateur qui ne présente pas la même souplesse.

Qui plus est, le contrôleur est doté de libre arbitre dans la manière d'aborder chaque problème particulier et dans le choix du moment le plus propice pour le traiter de sorte qu'il serait contradictoire d'espérer que le calculateur puisse sans le concours du contrôleur lui fournir à chaque instant sous la forme la plus appropriée toutes les informations et les seules informations dont il a besoin. Ecraser le contrôleur sous un flot incontrôlé d'informations ne constituerait aucunement une solution rentable.

.../...



Il résulte de ces deux évidences que si l'automatisation offre des possibilités de réduction de la tâche globale des contrôleurs par rapport au système manuel, elle ne peut échapper à donner naissance à une nouvelle catégorie de tâches supplémentaires, inconnues dans le système manuel et que nous appellerons les tâches induites.

Le bénéfice réel de l'automatisation se chiffre donc par la différence entre les tâches économisées et les tâches induites :

$$g_1 = \text{task benefit} - \text{induced task}$$

Le cas de la production des strips est un cas particulièrement avantageux car il est possible de concevoir cette opération sans donner naissance à des tâches induites. C'est en raison de cette caractéristique favorable que le stripping a constitué d'une manière systématique la phase I de la plupart des projets d'automatisation et que sa mise en service n'a pas soulevé de difficultés majeures.

Par contre, les expériences limitées qui ont été entreprises pour faire pénétrer plus intimement l'automatisation dans les processus de contrôle ont montré qu'il est difficile de s'assurer à priori que le bilan  $g_1$  sera effectivement positif.

Une analyse poussée des tâches montre que l'on ne peut espérer un avantage certain de l'automatisation que si l'on parvient à limiter d'une manière très stricte les "tâches induites" et à faire assister utilement le contrôleur par le calculateur dans leur exécution.

Le succès du Système qui en dépend se chiffrera par la différence des tâches économisées par l'automatisation et des tâches résiduelles induites.

$$g_2 = \text{task benefit} - \text{residual induced task}$$

De proche en proche on est ainsi conduit à procéder à une automatisation plus poussée que celle qui était apparue nécessaire à première vue.

L'importance donnée à ces préoccupations constitue sans doute une des caractéristiques les plus marquantes des travaux effectués en France dans ce domaine.

Pour chaque fonction on a recherché les moyens de réduire la tâche globale tout en économisant au maximum les tâches induites.

Chaque touche que l'on évite de faire enfoncer par les contrôleurs, chaque opération de désignation (rolling-ball ou light gun) que l'on supprime, chaque information que l'on présente sous la forme la plus adaptée au travail intellectuel du contrôleur, sont autant de victoires limitées mais dont l'accumulation accroît les chances de succès global de l'automatisation.

Il n'est pas possible d'entrer dans le détail des études effectuées en ce sens, ni de recenser les analyses et expérimentations qui restent à entreprendre.

On se limitera donc à donner un aperçu général des grandes options qui ont été choisies en France pour tenter de passer par la porte étroite qui ouvrira la voie de l'automatisation.

Pour plus de clarté, les tâches effectuées au sein du système ATC ont été classées en trois catégories

- l'acquisition de l'information
- l'intégration et la diffusion des informations
- la représentation et l'analyse du trafic.

Nous les aborderons successivement.

#### L'ACQUISITION DE L'INFORMATION

L'information brute nécessaire à la connaissance des positions instantanées et futures des avions provient de plusieurs sources primaires dont chacune ne délivre qu'une partie des données nécessaires. Le support utilisé est très variable d'une source à l'autre ; signaux télégraphiques pour le plan de vol et les informations météorologiques, messages parlés pour les communications téléphoniques et radiotéléphoniques, messages écrits, signaux à vidéo fréquence pour le radar complétés par un codage digital pour le radar secondaire ; dans certains Centres - et j'en connais ! - on n'hésite pas à utiliser aussi les ressources de la "balistique" pour acheminer l'information écrite sur un rapport matériel (jet de strip d'une position de contrôle à l'autre).

.../...

Le décodage de ces informations et leur mise en forme pour les besoins du contrôle imposent une charge de travail variable suivant les contraintes spécifiques attachées aux informations issues de chaque source. D'une manière générale, on peut affirmer que la quasi-totalité des tâches visibles (ou "audibles") dans un centre se rapportant à l'acquisition, au décodage, et à la répartition de l'information.

Il n'est donc pas surprenant que ces tâches apportent à elles seules une limite à la faculté de croissance des Centres de Contrôle.

Il est donc logique et souhaitable de tenter d'introduire dans le calculateur, l'information primaire brute afin de la traiter ensuite au profit des contrôleurs. Les techniques modernes offrent effectivement de telles possibilités, en particulier pour les informations concernant les Plans de vol, le Radar Secondaire et le Radar Primaire.

Le plan de vol déposé par le pilote ou la Compagnie préalablement à l'envol contient tous les éléments permettant de caractériser le vol et d'en prévoir le déroulement à partir d'une origine temporelle constituée par l'heure de départ prévue.

Les informations fondamentales qu'il contient sont très rarement modifiées par la suite, exception faite de l'heure de départ.

La confection automatique des strips à partir des messages issus du Service Fixe des Télécommunications Aéronautiques (A.F.T.N.) constitue une première application relativement simple de l'automatisation. Dans l'état actuel des normes internationales, cette opération nécessite encore un maillon humain car le codage des messages du Service Fixe est impropre à une entrée directe dans un calculateur (1). Cependant le personnel assurant le transcodage de ces messages joue un rôle passif d'intermédiaire indépendant et sa mise en place ne participe pas à l'auto-saturation du Centre que nous avons évoquée.

D'une manière plus générale on peut dire que le plan de vol déposé permet de procéder au calcul complet des vols, en particulier au calcul des temps de vol entre balises. Ce calcul est assez précis car on tient compte du vent météorologique.

---

(1) Le nouveau format "Plan de Vol" étudié par le groupe d'Experts de l'O.A.C.I. pour l'automatisation du contrôle (A.T.C.A.P.) est en cours d'approbation.

Parmi les données qui permettront de recalculer le vol, l'heure de décollage ou l'heure d'entrée dans la zone contrôlée joue un rôle particulier ; la connaissance de ces heures permet d'activer le vol et de déduire facilement les heures absolues de passage sur les balises successives. Cette information est obtenue de l'Aérodrome ou du Centre précédent par communication téléphonique. Il est indispensable pour les stades évolués d'automatisation que cette information soit introduite dans les calculateurs.

Les informations ultérieures obtenues grâce aux reports successifs de position par le pilote par voie air-sol présentent un caractère différent. En effet ces informations ne sont indispensables à la conduite des opérations du contrôle que dans la mesure où la prévision effectuée à partir du Plan de Vol initialisé puis complété par les informations issues des autres sources ne suffisent pas à définir en permanence la position des avions. Dans des stades peu avancés d'automatisation ces reports ne pourront pas toujours être supprimés mais il n'est pas certain que l'information correspondante devra pour autant faire systématiquement l'objet d'un traitement automatique. On touche ici du doigt un des problèmes les plus délicats de l'automatisation. En effet, la liaison radio téléphonique VHF air:sol constitue un moyen adapté à l'homme qui est capable de procéder sans difficulté majeure au décodage, à l'utilisation et à la mise en mémoire (1) de ces informations. Par contre cette source d'information est impropre à toute automatisation directe. Il en résulte que l'entrée d'une telle information dans le calculateur constituerait une tâche induite par l'automatisation particulièrement lourde. Il s'ensuit qu'il n'y a lieu de songer à utiliser une telle information dans le calculateur que dans la mesure où l'on se serait assuré d'une manière certaine que le bilan de l'opération est positif, c'est-à-dire que le bénéfice pour l'ensemble des contrôleurs du traitement de cette information par le calculateur compensera largement la somme des tâches induites qui seront imposées pour l'introduire dans le calculateur. Il s'agit là d'un problème clef. Pour notre part cette source d'information est la seule source que nous ne tenterons pas d'automatiser systématiquement en raison du maillon manuel inéluctable. Par contre nous verrons que, à l'occasion d'opérations particulières (transferts par exemple), les contrôleurs seront amenés à introduire dans le calculateur certaines informations concernant le déroulement des vols, et que la mise à jour des plans de vol dans le calculateur constituera un sous-produit intéressant de ces opérations de transferts.

---

(1) par modification manuelle du strip.

Le degré de participation du contrôleur à l'entrée des informations dans le calculateur dépendra donc de la rapidité avec laquelle les autres sources d'informations auront pu faire l'objet d'une automatisation effective et efficiente.

Ces autres sources d'informations offrent des perspectives prometteuses d'automatisation directe indépendamment de la participation du contrôleur.

#### TRAITEMENT AUTOMATIQUE DU RADAR SECONDAIRE

Les réponses actives aux interrogations du Radar Secondaire ont des caractéristiques telles que leur introduction dans un calculateur (puis leur traitement) est fort complexe mais présente de grandes probabilités de succès.

Cette source d'informations peut être introduite dans le calculateur indépendamment de la participation des contrôleurs et présente donc un intérêt tout particulier.

C'est pourquoi elle fera l'objet d'une automatisation rapide (1).

Des améliorations très prometteuses s'ensuivront au fur et à mesure que l'équipement des avions se généralisera.

#### TRAITEMENT AUTOMATIQUE DU RADAR PRIMAIRE

Le cas du Radar Primaire est plus complexe en effet, si l'information contenue dans chaque récurrence du Radar Primaire est impropre à elle-même à toute utilisation directe, cette même information affichée sur les couches rémanentes des écrans cathodiques se prête remarquablement bien à l'interprétation immédiate la rémanence assure en effet avec une simplicité étonnante :

- l'association des échos radar en plots (ensemble des échos d'une cible obtenus au cours des récurrences au même passage du faisceau) :

- l'association des plots ainsi obtenus en pistes (ensembles des plots concernant une même cible au cours de tours d'antenne successifs), et la mise en évidence du vecteur vitesse.

---

(1) 1966 dans l'ATCC d'ORLY.

Par contre ces mêmes résultats ne peuvent être obtenus à l'aide de calculateurs qu'au prix d'une extrême complexité surtout en présence de "bruits" indésirables (bruit thermodynamique, résidus d'échos de sol et de nuages, "anges"....).

De plus il résulte de notre expérience limitée que, pour le moment, la poursuite Radar Primaire n'est pas par elle-même assez sûre dans toute condition, et qu'elle requiert encore en conséquence un "monitoring" manuel c'est-à-dire des tâches induites ; le gain de tâche éventuel pour le contrôleur dans l'environnement de l'A.T.C. n'est pas encore connu.

On pourrait considérer, dans ces conditions, que la digitalisation de l'information Radar Primaire ne présente pas d'intérêt majeur. En fait, l'introduction du Radar Primaire dans le calculateur est susceptible d'améliorer la qualité de la présentation cathodique (et de permettre le déport des images) ; mais son intérêt majeur réside dans l'aptitude du calculateur à traiter cette information en relation avec des informations issues d'autres sources élémentaires (voir la communication à ce sujet, de M. GUFFLET).

D'une manière plus générale, toute mise en forme automatique des informations élémentaires au profit du contrôleur sera d'autant plus souhaitable que le traitement intermédiaire s'effectuera en code digital permettant ainsi d'informer simultanément le calculateur. Ce dernier se trouve ainsi mis en conditions pour participer à d'autres tâches associées au contrôle de la circulation aérienne que nous analyserons ci-dessous.

#### L'INTEGRATION ET LA DIFFUSION DES INFORMATIONS ELEMENTAIRES.

Chacune des informations élémentaires concernant un vol donné (Plan de Vol, Météo, Radar, etc...) est insuffisante à elle seule pour effectuer le contrôle.

Il convient donc de procéder à l'intégration de ces informations élémentaires puis à leur diffusion d'une manière telle que chaque participant dispose au moment le plus propice des données qui sont nécessaires à l'exécution de la tâche qui lui est dévolue à l'exclusion des données qui ne lui sont pas directement utiles et qui sont en conséquence de nature à disperser inutilement son attention. Les tâches liées à la diffusion de l'information dans un Centre sont souvent improprement dénommées tâches de coordination.

.../...

Ces opérations imposent au système manuel des tâches de nature très variée qui constituent une charge d'autant plus lourde que le dispositif de contrôle est moins concentré et que la division du travail est plus poussée (par sectorisation ou par nature fonctionnelle).

Il est évident que chaque contrôleur a besoin de recourir à des sources d'informations complémentaires de celles auxquelles il a un accès direct. Les différentes pièces du "puzzle" sont disséminées entre les divers postes de travail et il est nécessaire que certaines d'entre elles (ou mieux des assemblages cohérents de plusieurs d'entre elles) fassent simultanément ou successivement en plusieurs endroits.

Dans la mesure où les informations primaires enregistrées dans ses mémoires un ordinateur constitue un moyen particulièrement bien adapté pour présenter automatiquement à chaque contrôleur les informations intégrées correspondant à chaque instant à ses besoins.

#### LA PRESENTATION ET L'ANALYSE DU TRAFIC

Nous avons décrit comment l'information élémentaire nécessaire à la connaissance des positions actuelles et futures de chaque vol était acquise, intégrée et diffusée.

L'exécution proprement dite du contrôle consiste alors pour chaque contrôleur à analyser un ensemble de trajectoires pour en rechercher les inter-actions et délivrer, en conséquence, les autorisations de vol.

En raison de la division des tâches (par secteur ou par fonction) l'analyse du trafic ne se limite pas pour un contrôleur donné à la seule situation dont il a connaissance et dont il doit résoudre les problèmes. Le contrôleur doit s'assurer par une coordination étroite que ses décisions sont acceptables par les autres contrôleurs simultanément ou ultérieurement intéressés par les mêmes vols.

La complexité et la densité des informations nécessaires à la connaissance du trafic (quatre dimensions, nombreux avions, trajectoires variées, etc...) exclut toute possibilité de représentation mentale permanente et dynamique par chaque contrôleur de tout le trafic qu'il gère et a fortiori de l'ensemble du trafic susceptible d'interférer avec celui-ci à court ou moyen terme.

.../...

Une telle représentation n'est pas accessible globalement à l'esprit humain et il n'existe en conséquence aucun moyen pratique de représentation physique susceptible de suppléer à cette difficulté de perception.

Il convient donc de procéder à des représentations partielles présentant des degrés différents de finesse, et un nombre limité de paramètres.

Pour analyser plus aisément ce problème nous le comparons au mécanisme de la vision d'une scène dont l'extension dépasse le champ visuel de l'observateur. Pour effectuer une surveillance complète le dernier peut utiliser les ressources de son champ "paravisuel" qui lui fournit une image suffisante en dehors du champ normal pour attirer son attention en cas d'apparition de phénomènes intéressants ; il peut, au contraire, animer l'axe moyen de son champs de vision normale d'un mouvement de balayage pour couvrir la totalité de la scène ; il acquiert ainsi une représentation plus fine de l'ensemble au prix d'un plus grand effort. Enfin, si un pôle d'intérêt particulier est mis ainsi en évidence, l'oeil s'orientera de façon à localiser l'image correspondante sur la "tâche jaune" de la rétine ; dans le champ réduit correspondant, l'image est transmise au cerveau avec le maximum de finesse.

La vision totale, par un contrôleur, du trafic dépassant sa capacité de représentation, doit s'effectuer d'une manière assez similaire à celle de la vision oculaire, en faisant appel à des représentations à différents niveaux de finesse. Cependant la "vision du trafic" n'est pas directe mais résulte de la reconstitution d'un "modèle de trafic" construit à partir des informations disponibles. Cette construction, même grossière, impose une activité intellectuelle importante. Les contrôleurs sont amenés sans relâche à procéder à ces constructions pour surveiller tout leur trafic et rechercher les situations nécessitant une analyse plus soignée et éventuellement le déclenchement d'une action. Cette activité intellectuelle souvent intense est extrêmement complexe à analyser car elle s'effectue d'une manière quasi-automatique et rapide. Cette tâche, si elle consomme donc apparemment peu de temps, absorbe une énergie impossible à chiffrer mais certainement d'autant plus déterminante qu'elle est constamment interrompue dans son déroulement par les autres tâches afférentes à l'acheminement de l'information.



Elle est de plus génératrice d'un sentiment d'insécurité chez le contrôleur qui n'est jamais sûr d'avoir effectué cette surveillance assez finement, et de ne pas avoir laissé échapper tel évènement qui aurait dû retenir son attention. Le calculateur est susceptible de participer activement à cette surveillance générale. A partir des informations dont il dispose il peut analyser le trafic d'une manière cyclique et fréquente en vue d'effectuer les actions correspondantes ou de suggérer au contrôleur de les déclencher.

Les possibilités d'intervention de l'automatisation dans ces processus dépendent essentiellement du stade d'automatisation atteint, en particulier de la nature et du degré de précision des informations qui ont été introduites dans le calculateur.

Ainsi, au moyen des informations relativement grossières constituées par le Plan de Vol transmis par le R.S.F.T.A. complétée par une première mise à jour au moment de l'entrée des avions dans la Région de contrôle (activation du vol), le calculateur sera en mesure d'effectuer un balayage systématique du trafic actif :

- pour prévoir suffisamment à l'avance la charge des secteurs afin de permettre de prendre, le cas échéant des mesures conservatoires (optimisation de la répartition de l'effectif disponible, flow control),
- pour attirer l'attention d'un contrôleur au moment où ce dernier devrait transférer un avion (ou une information) à un autre contrôleur ; les marges à prévoir dans le choix de ce moment seront d'autant plus faibles que les données connues du calculateur seront moins grossières,
- pour préparer les messages de coordination à partir des informations dont il dispose afin de les présenter de telle manière que le contrôleur intéressé n'ait pour charge que de confirmer ces messages, ou de corriger le cas échéant certains de ses éléments sans avoir à composer le message lui-même ou à se soucier de son acheminement aux destinataires (participation active du calculateur à la coordination),
- pour acheminer automatiquement ces messages vers leurs destinataires, assurer une indépendance temporelle aussi complète que possible des tâches des contrôleurs impliqués et gérer l'état des négociations de transfert jusqu'à leur aboutissement.

.../...

Ce stade d'automatisation sera expérimenté en vraie grandeur dans l'ATCC d'ORLY dans le courant de 1966.

Le maximum de précautions a été pris pour s'assurer que le bilan  $g_2$  des tâches afférentes à cette opération sera positif et si les espoirs ne sont pas déçus il sera procédé à la mise en service opérationnelle correspondante.

On notera que la mise à jour des vols par le contrôleur en vue des opérations de transfert des avions renseigne au passage le calculateur qui se trouve ainsi en mesure de préparer des messages de propositions de transfert ultérieur plus précis.

Dans une étape plus avancée d'automatisation le calculateur disposant dans ses mémoires d'informations plus fines (1) pourra jouer un rôle encore plus constructif au profit du contrôleur. Une progressivité dans la participation au contrôle sera envisagée. On cherchera d'abord à présenter les informations intégrées sous une forme telle que l'effort de représentation du trafic par les contrôleurs soit minimisé ; les études psychotechniques et les expérimentations pour le choix de ces présentations seront d'un grand secours, pour définir des nouvelles présentations (displays) qui entraînent effectivement une diminution de la charge globale sans générer pour leur analyse, leur filtrage et leur mise en forme par le contrôleur une charge induite qui en annule les avantages éventuels.

Dans un stade plus évolué encore on pourra demander au calculateur d'assembler et de classer les informations de telle manière que l'effort du contrôleur pour la recherche des conflits soit réduit au minimum (par exemple en plaçant côte à côte des informations concernant des avions susceptibles d'interférer).

Nous voyons alors apparaître la possibilité de faire participer le calculateur à l'analyse du trafic et au balayage systématique propre à décharger le contrôleur de cette tâche qu'il n'accomplit qu'au prix de tension et d'efforts soutenus et permanents.

Dans la mesure où toutes les informations utiles figurent dans ses mémoires, le calculateur peut attirer l'attention de chaque contrôleur sur l'apparition de tout problème justifiant une action ou une analyse plus fine de sa part.

---

(1) en particulier les informations provenant du radar secondaire et des mises à jour des plans de vol effectuées à l'occasion des opérations de coordination.

Dans le stade le plus avancé de traitement, cette fonction se transformera peu à peu en une recherche des conflits .

Il semble que la résolution des conflits n'apparaîtra que comme un cas particulier de la recherche des conflits puisque cette opération consiste en fait en une recherche de conflit appliquée à une solution calculée pour en évaluer la validité, et pour comparer ensuite entre elles les diverses solutions possibles.

Nous laissant entraîner par la logique ... et par l'imagination, nous avons entrevu les temps où les systèmes automatiques interviendront profondément dans les processus de contrôle.

Les stades ultimes d'automatisation ne peuvent cependant pas être prévus dès maintenant. Ils impliqueront des améliorations fondamentales des moyens d'acquisition des informations sur lesquelles le contrôle est basé et la mise en oeuvre d'un système doué d'une sécurité quasi absolue de fonctionnement.

Toutefois, il apparaît clairement qu'entre les premières phases d'automatisation et les stades futurs les plus évolués il existe de nombreux paliers et que la progression s'effectuera par évolution sans révolution.

Tout au long de cette marche, l'automatisation sera appliquée comme une méthode pour organiser le travail des contrôleurs de manière à utiliser dans les meilleures conditions possibles les aptitudes exceptionnelles de l'homme qu'aucun calculateur n'égalera jamais - et à tenter de faire effectuer au calculateur les tâches dans lesquelles il surpasse manifestement le cerveau humain.

L'automatisation peut aussi être considérée comme un remède tel qu'à chaque stade de sa progression, la charge globale de travail humain doit diminuer, tandis que simultanément l'information disponible pourra être traitée plus complètement.

Cette évolution est maintenant fortement entamée en France grâce à la mise en oeuvre à l'ATCC d'ORLY, de moyens puissants propres à permettre une analyse profonde des mécanismes impliqués et à autoriser la mise en application progressive de l'automatisation.

.../...

LES METHODES UTILISEES EN FRANCE POUR L'INTRODUCTION DE  
L'AUTOMATISATION

Quelques années d'expérience nous ont convaincu qu'il était pratiquement impossible d'apporter la preuve opérationnelle de la validité des systèmes d'automatisation de l'ATC sans recourir à l'expérience en vraie grandeur dans des conditions d'environnement réelles.

Des analyses soignées, des expérimentations partielles apportent une contribution essentielle aux études de conception de ces systèmes, mais jusqu'à présent elles n'ont abouti qu'à administrer des preuves négatives, c'est-à-dire qu'elles n'ont permis que de rejeter des approches mal adaptées au problèmes ou des solutions mauvaises ou trop simplifiées. De tels résultats sont fondamentaux pour jeter les bases d'un Système nouveau mais sont impropres à permettre de le définir dans tous ses détails et surtout de s'assurer que les solutions retenues porteront effectivement les fruits escomptés.

Il arrive un moment cependant où il faut sélectionner des méthodes, définir et acquérir un ordinateur et ses matériels périphériques spécialisés.

La rédaction détaillée des procédures opérationnelles est longue et délicate ; la spécification du hardware, son achat et sa mise en place exigent un minimum de deux années ; la production des programmes de base est entamée pendant la période de production du hardware mais s'étend encore au delà de l'installation effective des ordinateurs en raison de l'interaction permanente entre le hardware et le software.

En supposant que l'opération se déroule dans les conditions les plus favorables on ne dispose d'un moyen d'expérimentation prêt à remplir son office que trois à quatre ans après que les options fondamentales du système aient été adoptées.

Pendant tout ce temps il est possible de continuer à analyser le problème et infléchir en conséquence les décisions prises au démarrage de l'entreprise mais la preuve opérationnelle de la justesse des options de base ne pourra être apportée que lorsque tout le système sera mis en condition de fonctionnement.

.../...

En raison de l'extrême complexité du problème posé et de ses innombrables implications, l'expérimentation montrera très rapidement quelque soit le soin apporté à l'analyse initiale que des modifications plus ou moins profondes doivent être apportées au Système.

Un processus bouclé par le feedback de l'expérience est alors entamé et doit se poursuivre sur une très longue période en raison de la grande constante de temps de réponse du dispositif (temps d'expérimentation, temps de programmation ou de modification du matériel).

Ce processus itératif d'amélioration du système ne peut conduire qu'à une compréhension toujours meilleure du problème mais ne présente pratiquement pas de chance de permettre d'aboutir dans des délais raisonnables à la spécification d'une solution définitive et stable. L'évolution rapide des données de base du problème ATC (croissance du trafic, modification des performances des avions....) rend d'ailleurs à elle seule illusoire tout espoir d'un tel accomplissement.

Il en résulte que, même en supposant que la preuve de la valeur opérationnelle d'un système nouveau puisse être apportée in vitro, un délai nouveau de trois ans devient nécessaire pour concevoir un matériel susceptible d'être mis en service réel, délai pendant lequel les problèmes et la technique ont continué à évoluer.

De plus, la mise en service directe d'un système entièrement nouveau dans un centre réel ne peut en aucun cas être effectuée brutalement.

La nature même des centres impose une progressivité dans l'évolution par une succession d'étapes non traumatisantes telles qu'à chaque stade un bénéfice réel soit apporté à l'exploitation.

Quelle que soit la confiance que l'on attache à l'expérimentation préalable dans des conditions fictives il n'en reste pas moins que l'on ne peut en aucune manière échapper tôt ou tard à une expérimentation lente et pénible dans un Centre en fonctionnement réel.

Il est donc apparu que pour démontrer la validité du nouveau Système dans des délais raisonnables et d'une manière probante, il est préférable de procéder directement et par étapes mesurées, à la mise en service opérationnelle du dispositif au fur et à mesure qu'il devient disponible.

.../...

Il a été ainsi décidé d'installer les moyens d'automatisation dans l'ATCC d'ORLY pour lequel la modernisation était requise en priorité.

Le système évolutif qui a été mis en place à cet effet a été conçu en fonction de sa double vocation expérimentale et opérationnelle.

Chaque fonction nouvelle, chaque nouveau moyen de présentation ou d'introduction des données, y sont expérimentés, toutes les fois que les conditions le permettent, sur des positions de contrôle exploitées en parallèle sur les positions réelles.

Chaque étape ainsi expérimentée et mise au point dans son environnement réel fait l'objet d'une mise en service immédiat apportant un progrès dans le fonctionnement du Centre et servant de tremplin à de nouvelles étapes plus avancées de nature à permettre à leur tour de nouveaux progrès dans l'exploitation.

Les R. and D. dans le domaine de l'automatisation de l'ATC ont été organisées en conséquence et les moyens limités dont on disposait en France ont été adaptés aux conditions particulières imposées par la politique choisie.

A cette fin il a été constitué progressivement une petite équipe homogène dont la vocation s'étend à l'ensemble des disciplines impliquées qui couvrent à la fois les facteurs opérationnels, humains et techniques. Cette équipe exerce sa maîtrise d'oeuvre depuis la conception du système jusqu'à sa mise en service en passant par la spécification du hardware, la définition des procédures, la production du software et l'expérimentation de l'ensemble.

Cette équipe exerce son activité à proximité du Centre de Contrôle et de nombreux cadres et contrôleurs du Centre participent à ces travaux.

La coordination étroite avec le Centre de Contrôle à tous les stades permet aux ingénieurs et psychologues d'étudier finement les mécanismes du contrôle et de s'imprégner de "l'ambiance opérationnelle" tandis que les "opérationnels" prennent conscience des possibilités des nouvelles techniques de traitement de l'information, s'initient à leur utilisation et participent activement à la préparation pratique de chaque étape.

La compréhension mutuelle qui en résulte et le désir partagé de réussir une oeuvre commune constituent des conditions optimales de succès dans un domaine rendu très difficile par sa nature même.

.../...

D'une manière générale, on a recherché les dispositions qui semblaient les meilleures pour réduire le plus possible le temps de réponse aux sollicitations techniques, opérationnelles, humaines et sociales qui s'exercent d'une manière continue et souvent difficile à prévoir de la conception à la mise en service du Système.

#### LES MOYENS MIS EN OEUVRE -

Le plus grand soin a aussi été apporté dans le choix des spécifications pour que le système présente une souplesse aussi large que possible pour s'adapter à l'évolution inéluctable des concepts de base au fur et à mesure de la progression des expérimentations.

La configuration générale des calculateurs a été organisée autour de deux ensembles identiques ; le premier ensemble est destiné à effectuer en service opérationnel les fonctions nouvelles au fur et à mesure de leur mise au point, tandis que le deuxième ensemble assure un secours quasi instantané du premier en cas de panne et est utilisé normalement pour la programmation et pour la conduite des recherches et expérimentations.

Cette même organisation avait déjà été adoptée et avait porté ses fruits lors de la mise en place des premiers calculateurs (I.B.M. 650 RAMAC) dans l'ATCC d'ORLY (1962) ; ces calculateurs qui avaient permis la mise en service du calcul et de l'impression des strips sur l'ensemble opérationnel tandis que les méthodes de liaison contrôleur:calculateur et les techniques de corrélation radar/plan de vol étaient dégrossies sur l'ensemble de secours mis en relation avec le Système militaire STRIDA II.

L'extension des fonctions que l'on souhaitait automatiser a conduit à faire rapidement appel à des calculateurs plus puissants et à prévoir de nouveaux dispositifs d'entrée et de sortie spécialisés pour chacune des consoles de contrôle.

Les nouveaux calculateurs font l'objet, comme les précédents, d'une location. Le choix n'est porté sur des ensembles constitués par des calculateurs I.B.M. 7040 couplés d'unités périphériques 1050 et connectés directement ou par l'intermédiaire de ces unités aux divers dispositifs spéciaux d'entrée/sortie spécialisés selon le schéma général de la figure I.

.../...

La figure 2 montre le schéma de principe de la commutation des deux ensembles en vue du secours instantané de l'ensemble prioritaire ; des unités de bandes magnétiques recueillent périodiquement, en fonctionnement normal, les informations qui permettent la reprise de programme sans omission ni erreur en cas de basculement sur l'ensemble de secours.

Il n'est pas nécessaire de décrire les calculateurs utilisés en raison de la grande diffusion dont ils ont fait l'objet et du caractère bien connu de leurs caractéristiques essentielles.

D'une manière générale, les contraintes imposées au Système résultent essentiellement de la sévérité des conditions "temps réel" de son fonctionnement et de la multiplicité de ses entrées/sorties simultanées. La sécurité et la continuité imposées à son fonctionnement soulèvent à leur tour des problèmes difficiles qui ne sont, en général, pas rencontrés dans la conception d'autres Systèmes. Le temps qui s'écoule dans le système est un temps lié d'une manière irréversible à l'horloge interne du calculateur réglée en Temps Universel (Heure de Greenwich).

Les niveaux de simultanéité et de priorité ont été classés en fonction de la nature de l'information correspondante, de son origine et de son rôle au sein du Système.

L'utilisation d'un multiplexeur possédant ses propres possibilités de traitement a permis une grande souplesse de conception du système, les entrées/sorties étant directement reliées aux canaux de simultanéité du calculateur principal ou connectées par l'intermédiaire du multiplexeur selon leur nature ; le schéma de la figure 3 donne un aperçu de cette répartition.

Dès que le type et la configuration des calculateurs ont été définis il a été possible de spécifier en détail les dispositifs d'entrée et de sortie spécialisés en fonction des concepts opérationnels et techniques retenus.

Basés sur l'expérience acquise par la pratique de digitaliseurs de signaux radar il a été possible de définir un nouveau matériel mieux armé pour s'adapter automatiquement aux conditions défavorables de "clutter" de toute sorte. La Compagnie Générale de Télégraphie sans Fil (C.S.F.) a été chargée de cette réalisation qui couvre à la fois le traitement analogique et digital de la vidéo des radars primaires et secondaires.

.../...



Des claviers spéciaux ont été développés (I.B.M. FRANCE) pour rendre l'entrée d'informations dans le calculateur par les contrôleurs aussi aisée que possible (ou aussi peu malaisée que possible !) selon des méthodes dont le principe a été expérimenté sur les premiers calculateurs installés dans le Centre. La pratique de ces entrées a été simplifiée au maximum en faisant jouer au calculateur un rôle aussi actif que possible dans toutes les procédures de manipulation de clavier ; pour donner la souplesse maximale, ce monitoring par le calculateur est programmé (et non câblé). L'emploi des touches alphabétiques a pu être entièrement évité.

La réalisation des dispositifs de visualisation cathodiques a été confiée à la Société Nouvelle d'Electronique (S.N.E. a subsidiary of Compagnie Française THOMSON HOUSTON). Un même type de décodeur de position et de générateur de caractères permet d'afficher des caractères sur un visualisateur de messages et sur le tube cathodique destiné à présenter l'image brute et/ou synthétique du radar. Les tubes cathodiques utilisés à ces deux fins sont des tubes classiques à phosphore à grande rémanence (couche P 19). Des marqueurs de désignation pourront être déplacés par les contrôleurs à l'aide de boules roulantes et de light-guns. Dans un premier stade les scopes cathodiques actuellement en service dans le Centre seront utilisés mais ils seront remplacés à brève échéance par des scopes à grande vitesse de déplacement du pinceau cathodique (40  $\mu$ s pour 90% du diamètre, 80  $\mu$ s pour écrire un message de 10 caractères) qui sont en cours de développement ; ces nouveaux scopes permettront d'améliorer la présentation sur une même image, de la vidéo brute du radar avec une rémanence convenable, et d'une vidéo synthétique dénuée de tout flicker gênant. La précision de positionnement sera de un pour mille (1/1000).

Ces matériels, grâce à la souplesse de leur conception, permettront de présenter l'information aux contrôleurs sous des formes qui pourront être modifiées par action sur les programmes. Le choix de l'information à présenter et la forme sous laquelle elle sera présentée aux contrôleurs à chaque stade de l'introduction de l'automatisation pourra ainsi faire l'objet de recherches et d'expérimentations variées.

La Société I.B.M. FRANCE a enfin développé pour ce Système dans ses laboratoires de la GAUDE, une imprimante spécialisée permettant d'imprimer au voisinage des positions de contrôle, des strips sur papier pré-coupé avec deux tailles de caractères et deux couleurs de papier.

Les nouveaux calculateurs ont pris le relai des anciens sans interruption de l'exploitation au mois de Mars 1965.

L'ensemble des unités périphériques spécialisées pour introduire l'information radar primaire et secondaire dans les calculateurs ainsi que pour équiper les 17 secteurs de contrôle existant dans le Centre actuellement sera livré d'une manière échelonné d'ici la fin du Printemps 1966.....

Dans l'intervalle il sera procédé à l'adaptation technique au calculateur des prototypes de chaque sous-ensemble ; dans ce même temps la programmation sera effectuée et les premières expérimentations limitées pourront prendre place. Les consoles des contrôleurs sont en cours de modification pour recevoir les nouveaux équipements.

#### LES OBJECTIFS FIXES AU NOUVEAU SYSTEME -

On a conservé au nouveau système le nom de CAUTRA car il constitue le prolongement du programme commencé grâce à son prédécesseur qui portait déjà la même désignation.

Ce nom met en évidence l'importance que l'on attache à la résolution par ce Système des problèmes de "Coordination Automatique du Trafic Aérien".

Dores et déjà, grâce au nouveau système mis en place, le bénéfice du calcul et de l'impression des strips a été étendue à partir de l'installation centralisée aux deux autres ATCC français (BORDEAUX en août 1965 - AIX-EN-PROVENCE en cours).

L'information dérivée des Plans de vol est aussi délivrée sous une forme convenable et d'une manière automatique à tous les autres organismes intéressés. La liaison automatique avec le calculateur de FRANCFORT (Allemagne) est envisagée à brève échéance.

Chacune des nouvelles fonctions plus intimement imbriquées avec les processus de contrôle commencera à être mise en service au fur et à mesure de l'expérimentation qui s'étendra sur 1966 et si besoin, au delà.

Ces autres fonctions considérées comme prioritaires concernent :

.../...

- la coordination inter-secteurs sans radar, telle qu'à été sommairement exposée ci-dessus,
- le traitement du radar secondaire (décodage actif automatique avec affichage direct des codes et niveaux sur les scopes radar ; utilisation du code individuel avec poursuite automatique des avions.... non équipés de 4096 codes,
- le traitement du radar secondaire intégré avec le traitement des plans de vol et la coordination inter-secteurs (affichage automatique direct des indicateurs d'appel des avions sous forme alphanumérique, updating automatique des plans de vol par le radar secondaire).

Toutes ces fonctions pourront être assurées par un des ensembles 7040/7740.

Pendant les périodes où il ne sera pas utilisé pour la maintenance, la programmation ou le secours, le deuxième ensemble sera consacré aux recherches scientifiques, techniques et opérationnelles sur l'acquisition et la poursuite des pistes du radar primaire ; la puissance de traitement de l'information nécessaire à cette fin est similaire à celle qui est nécessaire par la mise en service des fonctions prioritaires, ce qui justifie l'organisation choisie.

Des expérimentations complémentaires pourront éventuellement être effectuées sur le simulateur d'EUROCONTROL en cours d'installation à BRETIGNY, dès qu'il offrira les possibilités correspondantes.

#### CONCLUSION -

On espère que l'ensemble des dispositions ainsi prises apportera une certaine contribution à l'étude de l'automatisation de l'ATC et permettra une évolution progressive et sans heurts des centres français vers un stade d'automatisation toujours plus poussé.

Grâce à l'automatisation on escompte que l'activité des contrôleurs sera de plus en plus placée dans le seul climat dans lequel elle peut s'épanouir réellement, un climat de sérénité permettant à chacun de donner le meilleur de lui-même sans dépasser les limites raisonnables qui risquent d'attenter à son équilibre et à sa santé. On escompte aussi que l'on évitera que l'ATC ne constitue un frein à la croissance du trafic, conséquence d'une expansion des besoins économiques et culturels.

.../...

Les études et réalisations effectuées dans les autres Etats sont suivies d'une manière permanente avec profit et intérêt. L'ATCAP aura d'ailleurs contribué à permettre de nouer des contacts cordiaux et fructueux entre les experts des Etats exécutant des recherches dans ce domaine. En toute occasion à MONTREAL où ailleurs des discussions et des échanges d'informations sur la finalité ou l'application de l'automatisation de l'ATC ont eu lieu entre ces experts qui ont la satisfaction de constater qu'ils participent très nombreux à ce Troisième Symposium organisé par la F.A.A. sur leur thème favori.